

Integrasi RCM Dan TPM Untuk Meningkatkan Keandalan Mesin *Homogenizer*

Muhammad Ikhsanudin Basri¹, Rakay Edhiargo Toyosito² dan Lifia Citra Ramadhanti³

^{1,2}Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Tangerang Raya

³Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang

¹ mikhsanudinemiubhe@gmail.com, ² rakaytoyosito@untara.ac.id, ³ lifia.citra@ft.unsika.ac.id

Abstrak

Mesin *homogenizer* merupakan salah satu peralatan kritis dalam proses produksi *Non-Dairy Creamer* karena berperan dalam menghasilkan emulsi yang homogen dan stabil. Tingginya frekuensi kerusakan pada mesin *homogenizer* dapat menyebabkan peningkatan *downtime* dan menurunkan efektivitas proses produksi. Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi komponen kritis penyebab *downtime*, menentukan strategi pemeliharaan yang tepat menggunakan pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM), serta mengevaluasi dampak implementasi *Total Productive Maintenance* (TPM) terhadap keandalan mesin *homogenizer* di PT CRM. Metode yang digunakan meliputi analisis *downtime*, perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR), *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Logic Tree Analysis* (LTA), serta penyusunan strategi pemeliharaan berbasis RCM yang diintegrasikan dengan TPM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin *homogenizer* menyumbang *downtime* sebesar 2.007 menit atau 69% dari total *downtime* produksi. Komponen paling kritis adalah gasket *plunger* dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) sebesar 504. Implementasi strategi pemeliharaan yang diusulkan berhasil menurunkan *downtime* sebesar 69%, menurunkan frekuensi kerusakan sebesar 67%, meningkatkan nilai MTTF dari 4.623,75 menit menjadi 13.871,25 menit, serta menurunkan nilai MTTR dari 83,63 menit menjadi 76,25 menit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi RCM dan TPM efektif dalam meningkatkan keandalan mesin *homogenizer* dan mendukung keberlangsungan proses produksi.

Article History:

Received 20 Jun 2026

Revised 29 June 2026

Accepted 29 June 2026

Available online 03 July 2026

Kata Kunci : *Failure Mode and Effect Analysis, Homogenizer, Reliability Centered Maintenance, Total Productive Maintenance*

Abstract

The *homogenizer* is one of the critical machines in the *Non-Dairy Creamer* production process due to its role in producing stable and uniform emulsions. Frequent failures in the *homogenizer* can increase *downtime* and reduce production effectiveness. This study aimed to identify critical components causing *downtime*, determine appropriate maintenance strategies using the *Reliability Centered Maintenance* (RCM) approach, and evaluate the impact of *Total Productive Maintenance* (TPM) implementation on *homogenizer* reliability at PT CRM. The research methods included *downtime* analysis, calculation of *Mean Time To Failure* (MTTF) and *Mean Time To Repair* (MTTR), *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Logic Tree Analysis* (LTA), and the development of maintenance strategies based on RCM integrated with TPM. The results showed that the *homogenizer* contributed 2,007 minutes or 69% of total production *downtime*. The most critical component was the *plunger* gasket with a *Risk Priority Number* (RPN) of 504. The implementation of the proposed maintenance strategy reduced *downtime* by 69%, decreased failure frequency by 67%, increased MTTF from 4,623.75 minutes to 13,871.25 minutes, and reduced MTTR from 83.63 minutes to 76.25 minutes. These findings indicate that the integration of RCM and TPM effectively improves *homogenizer* reliability and supports sustainable production performance.

Keywords : *Failure Mode and Effect Analysis, Homogenizer, Reliability Centered Maintenance, Total Productive Maintenance*

1. Pendahuluan

Industri manufaktur pangan merupakan sektor yang memiliki tuntutan tinggi terhadap kontinuitas proses produksi, konsistensi kualitas produk, dan efisiensi operasional. Pada industri pengolahan *Non-Dairy Creamer* (NDC), stabilitas proses produksi sangat dipengaruhi oleh keandalan mesin produksi karena sebagian besar proses berlangsung secara berkelanjutan (*continuous process*). Gangguan pada satu mesin dapat menyebabkan terhentinya aliran proses produksi, meningkatnya *work in process* (WIP), penurunan produktivitas, serta bertambahnya biaya operasional akibat *downtime* yang tinggi (Priatna, 2025; Rahmanda, 2023). Dalam proses produksi *Non-Dairy Creamer* (NDC), mesin *homogenizer* menjadi salah satu unit penting yang berfungsi menghomogenkan emulsi agar ukuran partikel tersebar secara merata, sehingga kualitas serta stabilitas produk akhir tetap terjaga (Astuti P. D., 2024).

Keandalan mesin *homogenizer* menjadi faktor penting karena posisinya berada pada tahapan kritis proses produksi. Kegagalan pada sistem *homogenizer* dapat menyebabkan ketidakstabilan tekanan, kebocoran fluida, terganggunya proses homogenisasi, hingga penghentian proses produksi secara keseluruhan (Aditia, 2025). Berdasarkan data historis PT CRM selama periode Mei–Oktober 2025, total *downtime* mesin mencapai 3.928 menit dengan persentase *downtime* sebesar 3,54% dari total waktu kerja. Dari total *downtime* tersebut, *mechanical downtime* menjadi penyumbang terbesar dengan nilai 2.911 menit atau sekitar 74,11% dari keseluruhan *downtime*. Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa mesin *homogenizer* merupakan penyumbang *downtime* tertinggi dengan total waktu henti sebesar 2.007 menit atau sekitar 69% dari total *mechanical downtime*. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa mesin *homogenizer* merupakan mesin kritis yang memerlukan perhatian khusus dalam sistem pemeliharaan perusahaan.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan efektivitas dan keandalan mesin produksi melalui penerapan metode pemeliharaan. Wibowo et al. (2025) mengungkapkan bahwa capaian *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) di mesin produksi gula masih teridentifikasi pada rentang 60–84%, yang menunjukkan perlunya pengembangan sistem pemeliharaan yang lebih efisien untuk mendukung peningkatan keandalan dan produktivitas mesin. Penelitian Satake et al. (2024) menunjukkan bahwa penerapan TPM pada mesin pengupas kulit padi menghasilkan nilai OEE sebesar 57,56% yang masih berada di bawah standar industri. Sementara itu, Nurardisa dan Winursito (2025) melaporkan bahwa efektivitas mesin *packaging* hanya mencapai 74,21% di mana sumber kerugian paing dominan berasal dari *reduced speed losses*. Temuan serupa juga disampaikan oleh Irianto et al. (2020), Mardian et al. (2022), dan Prasmoro dan Fauzi (2022) mengindikasikan bahwa waktu henti mesin (*downtime*) masih menjadi penyebab utama yang berkontribusi terhadap rendahnya tingkat efektivitas peralatan produksi.

Selain pendekatan berbasis efektivitas mesin, beberapa penelitian telah menerapkan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) sebagai metode peningkatan keandalan. Qomariyah et al. (2025) melaporkan bahwa penerapan RCM mampu meningkatkan *reliability* mesin dari 53,1% menjadi 90%. Uzoigwe (2024) menyatakan bahwa RCM dapat digunakan secara efektif untuk meningkatkan keandalan aset, efisiensi operasional, dan memperkecil durasi penghentian operasi mesin di sektor industri pangan dan minuman. Nkemakonam et al. (2022) juga menunjukkan bahwa strategi pemeliharaan berbasis keandalan mampu meningkatkan *reliability* hingga 99,7% dan menurunkan biaya pemeliharaan. Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada penentuan strategi pemeliharaan tanpa mengintegrasikan aspek implementasi dan keterlibatan operator dalam menjaga keberlanjutan program pemeliharaan.

Di sisi lain, pendekatan *Total Productive Maintenance* (TPM) banyak digunakan untuk mengoptimalkan performa mesin melalui keterlibatan seluruh elemen organisasi. Iskandar dan Padmakusumah, (2025) menyatakan bahwa TPM mampu menurunkan *downtime* dan meningkatkan budaya pemeliharaan melalui penerapan *autonomous maintenance* dan *planned maintenance*. Kajian literatur yang dilakukan Kusuma dan Muttaqin (2021) juga menunjukkan bahwa implementasi TPM mampu meningkatkan OEE sebesar 10–30% pada berbagai sektor industri. Meskipun demikian, penelitian TPM umumnya lebih menekankan aspek implementasi dibandingkan analisis teknis penyebab kegagalan mesin sehingga sering kali belum mampu menentukan prioritas perbaikan berdasarkan tingkat risiko kegagalan komponen.

Berdasarkan kajian literatur tersebut, dapat diidentifikasi adanya kesenjangan penelitian (*research gap*). Sebagian penelitian hanya berfokus pada peningkatan efektivitas mesin menggunakan

OEE dan TPM, sedangkan penelitian lainnya lebih menitikberatkan pada analisis keandalan menggunakan RCM tanpa didukung strategi implementasi yang berkelanjutan. Selain itu, penelitian yang mengintegrasikan RCM, FMEA, dan TPM pada mesin *homogenizer* di industri *Non-Dairy Creamer* masih sangat terbatas. Padahal, kombinasi ketiga pendekatan tersebut berpotensi menghasilkan sistem pemeliharaan yang lebih komprehensif karena mampu menentukan komponen kritis, mengurutkan tingkat risiko kegagalan, sekaligus memastikan implementasi perbaikan dapat berjalan secara berkelanjutan.

Aspek kebaruan ini terletak pada penerapan terpadu metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM), *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), serta *Total Productive Maintenance* (TPM) pada mesin *homogenizer* yang digunakan dalam industri *Non-Dairy Creamer*. Pendekatan RCM dimanfaatkan untuk menyusun kebijakan pemeliharaan yang sesuai berdasarkan fungsi peralatan dan Konsekuensi yang dihasilkan akibat kegagalan. Pada tahap selanjutnya, FMEA diterapkan untuk mengidentifikasi serta mengurutkan besarnya risiko melalui perhitungan *Risk Priority Number* (RPN). Sementara itu, TPM diterapkan sebagai strategi pelaksanaan perbaikan berkelanjutan melalui penerapan pilar *autonomous maintenance*, *planned maintenance*, dan *focused improvement* guna meningkatkan keandalan serta efektivitas kinerja mesin. Integrasi ketiga metode tersebut dilakukan berdasarkan data *downtime* aktual selama enam bulan sehingga menghasilkan rekomendasi pemeliharaan yang lebih tepat sasaran dan aplikatif.

Berdasarkan permasalahan yang terjadi, Riset ini dilaksanakan untuk mengidentifikasi bagian-bagian kritis yang berkontribusi terhadap terjadinya *downtime* pada mesin *homogenizer*, menetapkan strategi perawatan yang paling sesuai dengan pendekatan metode RCM dan FMEA, serta menyusun penerapan TPM sebagai upaya meningkatkan tingkat keandalan peralatan dan mengurangi *downtime* pada proses produksi *Non-Dairy Creamer* di PT CRM.

2. Bahan dan Metode

2.1 Objek Penelitian dan Sumber Data

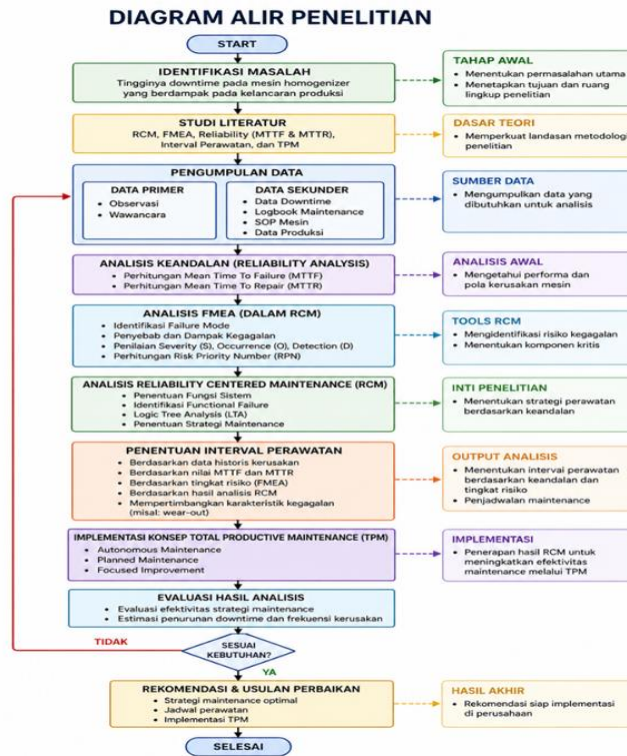
Penelitian dilaksanakan pada mesin *homogenizer* yang digunakan dalam proses produksi *Work in Process* (WIP) *Non-Dairy Creamer* di PT CRM. Mesin *homogenizer* dipilih sebagai objek penelitian karena memiliki kontribusi *downtime* terbesar dibandingkan mesin produksi lainnya selama periode pengamatan Mei–Oktober 2025. Berdasarkan data historis perusahaan, mesin *homogenizer* menyumbang *downtime* sebesar 2.007 menit atau sekitar 69% dari total *mechanical downtime* yang terjadi pada lini produksi. Kondisi ini mengindikasikan bahwa mesin *homogenizer* termasuk peralatan vital yang memiliki kontribusi signifikan terhadap keberlangsungan dan kelancaran aktivitas produksi.

Informasi yang diperoleh dimanfaatkan dalam studi ini meliputi data primer dan data sekunder. Data primer dikumpulkan menggunakan pengamatan secara langsung dengan aktivitas operasional mesin serta hasil wawancara dengan operator, personel pemeliharaan, dan supervisor produksi yang terlibat dalam proses pengoperasian dan *maintenance* mesin. Data sekunder diperoleh dari laporan *breakdown*, data *downtime*, *logbook maintenance*, standar operasional prosedur (SOP), data produksi, dan catatan histori perawatan mesin *homogenizer* selama periode Mei–Oktober 2025.

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian meliputi komputer dengan perangkat lunak Microsoft Excel 2021 (Microsoft Corporation, USA) untuk pengolahan data *downtime*, analisis keandalan, penyusunan tabel FMEA, dan perhitungan parameter pemeliharaan. Selain itu digunakan dokumen historis perawatan dan laporan kerusakan mesin sebagai sumber utama analisis.

2.2 Tahapan Penelitian

Studi ini dilaksanakan dengan pendekatan serangkaian proses yang studi ini dilaksanakan dengan pendekatan *downtime* serta riwayat kerusakan pada mesin *homogenizer*. Selanjutnya, data yang telah diperoleh dianalisis untuk mengidentifikasi peralatan kritis berdasarkan besarnya akumulasi *downtime* dan tingkat frekuensi kerusakan yang terjadi. Setelah mesin *homogenizer* ditetapkan sebagai fokus penelitian, dilakukan evaluasi keandalan mesin menggunakan metode RCM, FMEA, dan penerapan TPM. Secara keseluruhan, skema pelaksanaan penelitian ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Tahapan Penelitian Integrasi RCM dan TPM pada Mesin Homogenizer

2.3 Analisis Reliability Centered Maintenance (RCM)

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan suatu metode terstruktur yang dimanfaatkan untuk menentukan kebijakan pemeliharaan yang paling optimal dengan mempertimbangkan fungsi peralatan, bentuk kegagalan yang mungkin terjadi, faktor sumber kegagalan, serta dampak yang diakibatkan terhadap sistem bila kegagalan tersebut terjadi (Azhari et al., 2024). RCM berfokus pada upaya mempertahankan fungsi peralatan agar tetap mampu beroperasi sesuai dengan kebutuhan proses produksi.

Aplikasi metode Reliability Centered Maintenance (RCM) pada studi ini dilakukan melalui beberapa langkah sistematis yang meliputi identifikasi sistem beserta komponen-komponennya, penentuan fungsi setiap sistem, pengenalan kegagalan fungsional, identifikasi mode kegagalan yang berpotensi terjadi, analisis dampak atau konsekuensi kegagalan, serta penetapan strategi pemeliharaan yang paling efektif. Rangkaian tahapan tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan tindakan perawatan yang tepat untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan dan meningkatkan tingkat keandalan mesin homogenizer.

2.4 Analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Sebagai bagian dari tahapan dalam penerapan Reliability Centered Maintenance (RCM), penelitian ini memanfaatkan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengevaluasi berbagai potensi kegagalan yang dapat terjadi pada komponen-komponen kritis mesin homogenizer. Menurut Aji dan Setiafindari (2023), Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan metode yang digunakan untuk menelusuri berbagai model kegagalan yang berpotensi terjadi, menelusuri faktor penyebabnya, serta mengkaji efek yang disebabkan terhadap kinerja dan keberlangsungan sistem secara keseluruhan.

Analisis FMEA dilaksanakan dengan memberikan penilaian terhadap tiga parameter utama, yaitu Severity (S), Occurrence (O), dan Detection (D) untuk setiap mode kegagalan yang teridentifikasi. Parameter Severity menggambarkan tingkat keseriusan dampak yang ditimbulkan akibat kegagalan terhadap kinerja sistem. Parameter Occurrence menunjukkan peluang atau frekuensi terjadinya kegagalan, sedangkan Detection mencerminkan kemampuan mekanisme pengendalian yang

tersedia dalam mendeteksi potensi kegagalan sebelum menyebabkan konsekuensi yang lebih signifikan. (Putra dan Puspitasari, 2024).

Prioritas risiko ditentukan menggunakan nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang Dikalkulasikan Berlandaskan Persamaan (1).

$$RPN = S \times O \times D \dots\dots\dots (1)$$

Komponen dengan tingkat RPN paling tinggi ditetapkan sebagai komponen kritis yang menjadi prioritas utama dalam penyusunan strategi pemeliharaan.

2.5 Analisis Keandalan Mesin

Analisis keandalan dilakukan untuk mengevaluasi tingkat kemampuan mesin *homogenizer* dalam menjalankan fungsi operasionalnya secara optimal tanpa mengalami gangguan atau kegagalan selama jangka waktu operasi tertentu. Dalam penelitian ini, pengukuran keandalan dilakukan menggunakan dua parameter utama, yaitu *Mean Time To Failure* (MTTF) yang merepresentasikan rata-rata waktu terjadinya kegagalan, di samping itu *Mean Time To Repair* (MTTR) yang merepresentasikan rata-rata waktu yang diperlukan untuk tindakan perbaikan setelah terjadi kerusakan.

MTTF digunakan untuk menjelaskan rata-rata durasi kerja mesin sebelum terjadinya kerusakan. Semakin tinggi nilai MTTF, semakin tinggi tingkat keandalan sistem yang dianalisis (Muhazir et al., 2024). Perhitungan MTTF dilakukan menggunakan Persamaan (2).

$$MTTF = \frac{(Total\ Waktu\ Operasi - Downtime)}{Jumlah\ Kerusakan} \dots\dots\dots (2)$$

MTTR digunakan untuk mengukur rata-rata durasi yang diperlukan dalam proses perbaikan mesin setelah mengalami kegagalan atau kerusakan. Nilai MTTR yang semakin kecil menunjukkan bahwa aktivitas pemeliharaan memiliki tingkat efektivitas yang lebih baik dalam mengatasi gangguan operasional dan mengembalikan kondisi mesin ke keadaan normal dengan lebih cepat (Muhazir et al., 2024). Perhitungan nilai MTTR dilakukan berdasarkan Persamaan (3).

$$MTTR = \frac{Total\ Downtime}{Jumlah\ Kerusakan} \dots\dots\dots (3)$$

Hasil perhitungan MTTF dan MTTR digunakan sebagai dasar dalam menentukan interval pemeliharaan dan strategi perawatan yang optimal pada mesin *homogenizer*.

2.6 Penentuan Strategi Pemeliharaan

Strategi pemeliharaan ditentukan berdasarkan hasil analisis RCM, FMEA, dan parameter keandalan. Komponen dengan tingkat risiko tinggi dan nilai keandalan rendah diprioritaskan untuk memperoleh tindakan pemeliharaan preventif maupun inspeksi berkala. Penentuan strategi ini mempertimbangkan fungsi komponen, konsekuensi kegagalan, frekuensi kerusakan, serta dampaknya terhadap proses produksi.

Output dari tahap ini berupa rekomendasi jenis pemeliharaan yang meliputi *scheduled maintenance*, *condition-based maintenance*, inspeksi berkala, dan penggantian komponen berdasarkan tingkat kritikalitas masing-masing komponen mesin.

2.7 Implementasi Total Productive Maintenance (TPM)

Hasil analisis *Reliability Centered Maintenance* (RCM) selanjutnya dipadukan dengan pendekatan *Total Productive Maintenance* (TPM) guna meningkatkan efektivitas pelaksanaan kegiatan pemeliharaan. TPM merupakan suatu konsep pemeliharaan yang berfokus pada optimalisasi kinerja dan keandalan peralatan melalui partisipasi aktif seluruh unsur organisasi, mulai dari operator, teknisi, hingga tingkat manajemen. (Iskandar dan Padmakusumah, 2025).

Dalam penelitian ini, implementasi TPM difokuskan pada tiga pilar utama, yaitu *Autonomous Maintenance*, *Planned Maintenance*, dan *Focused Improvement*. Pilar *Autonomous Maintenance*

diterapkan melalui kegiatan inspeksi harian, pembersihan, pelumasan, dan pemeriksaan kondisi mesin oleh operator. Pilar *Planned Maintenance* diterapkan melalui penyusunan jadwal pemeliharaan berdasarkan hasil analisis keandalan dan tingkat risiko kegagalan. Sementara itu, *Focused Improvement* dilakukan melalui identifikasi dan perbaikan berkelanjutan terhadap penyebab utama kerusakan mesin *homogenizer*.

Integrasi RCM dan TPM diharapkan mampu menghasilkan sistem pemeliharaan yang tidak hanya tepat secara teknis dalam menentukan strategi perawatan, tetapi juga efektif dalam implementasinya sehingga mampu meningkatkan keandalan mesin dan menurunkan downtime produksi secara berkelanjutan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Identifikasi Mesin Kritis Berdasarkan Data *Downtime*

Analisis *downtime* dilakukan untuk mengidentifikasi mesin yang memberikan kontribusi terbesar terhadap gangguan operasional pada lini produksi *Non-Dairy Creamer*. Berdasarkan data historis perusahaan selama periode Mei–Oktober 2025, total *downtime* yang terjadi mencapai 2.911 menit dengan frekuensi kerusakan sebanyak 32 kejadian.

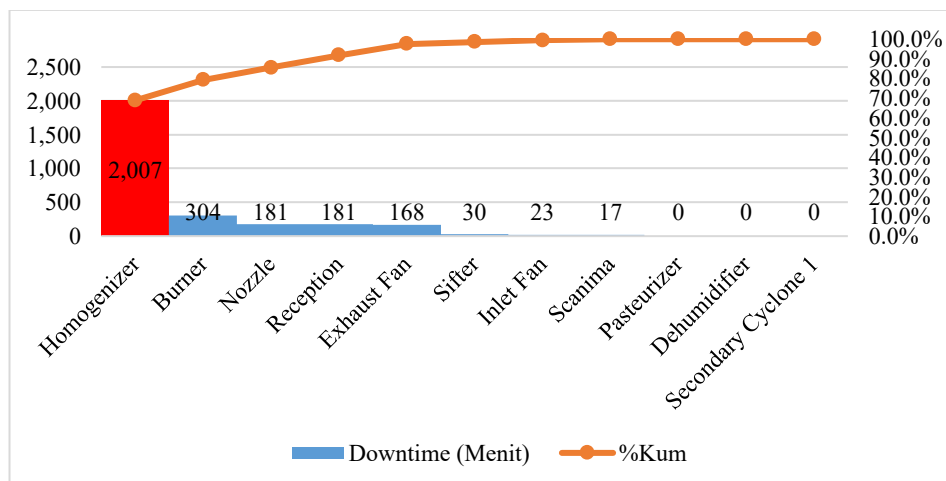
Tabel 1. Rekapitulasi *Downtime* Mesin Periode Mei–Oktober 2025

Mesin	<i>Downtime</i> (Menit)	Frekuensi
<i>Homogenizer</i>	2.007	24
<i>Burner</i>	304	2
<i>Nozzle</i>	181	1
<i>Reception</i>	181	1
<i>Exhaust Fan</i>	168	1
<i>Sifter</i>	30	1
<i>Inlet Fan</i>	23	1
<i>Scanima</i>	17	1
Total	2.911	32

Sumber : PT CRM (2025)

Berdasarkan Tabel 1, mesin *homogenizer* memiliki kontribusi *downtime* terbesar yaitu sebesar 2.007 menit atau 69% dari total *downtime* mesin produksi. Selain memiliki *downtime* tertinggi, *homogenizer* juga memiliki frekuensi kerusakan terbesar yaitu 24 kejadian. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa *homogenizer* merupakan mesin kritis yang paling mempengaruhi kontinuitas proses produksi.

Untuk memperjelas kontribusi masing-masing mesin terhadap total *downtime*, data disajikan dalam bentuk diagram *Pareto* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 2. Diagram *Pareto Downtime* Mesin Produksi Periode Mei–Oktober 2025

Hasil diagram *Pareto* menunjukkan bahwa sebagian besar *downtime* terkonsentrasi pada mesin *homogenizer*. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan keandalan *homogenizer* akan memberikan dampak paling signifikan terhadap penurunan *downtime* produksi secara keseluruhan.

3.2 Downtime Analisis Breakdown Mesin Homogenizer

Setelah *homogenizer* ditetapkan sebagai objek penelitian, dilakukan analisis *breakdown* untuk mengidentifikasi jenis kerusakan yang paling dominan.

Tabel 2. Data *Breakdown* Mesin *Homogenizer*

Jenis Trouble	Kategori	Downtime (Menit)	Frekuensi
Ganti Gasket <i>Plunger</i>	<i>Mechanical</i>	1.088	13
Trouble <i>Plunger</i>	<i>Mechanical</i>	315	2
Flowmeter Ngacak	<i>Instrument</i>	233	2
Flange Bocor	<i>Mechanical</i>	225	4
Pressure Tidak Stabil	<i>Mechanical</i>	100	2
Trouble <i>Monoblock</i>	<i>Mechanical</i>	46	1
Total		2.007	24

Tabel 2 menunjukkan bahwa kerusakan paling dominan terjadi pada gasket *plunger* dengan kontribusi *downtime* sebesar 1.088 menit atau 54,21% dari total *downtime homogenizer*. Selain itu, frekuensi kerusakan gasket *plunger* mencapai 13 kejadian atau lebih dari separuh total kejadian *breakdown* yang terjadi selama periode penelitian.

Temuan ini menunjukkan bahwa sistem tekanan tinggi merupakan bagian yang paling rentan terhadap kegagalan karena komponen gasket bekerja secara terus-menerus pada kondisi tekanan dan gesekan yang tinggi

3.3 Analisis Dampak Downtime terhadap Produksi

Selain menyebabkan penghentian proses produksi, *downtime* pada mesin *homogenizer* juga berdampak terhadap berkurangnya kapasitas produksi yang dapat dicapai selama periode pengamatan. Oleh karena itu, dilakukan analisis terhadap potensi kehilangan produksi (*production loss*) untuk mengetahui signifikansi *downtime* yang terjadi terhadap kinerja operasional perusahaan.

Tabel 3. Analisis Dampak *Downtime* terhadap Produksi

Parameter	Nilai
Total Waktu Operasi	110.970 menit
Total <i>Downtime</i>	2.007 menit
Persentase <i>Downtime</i>	1,81%
<i>Downtime</i>	33,45 jam
Kapasitas Produksi	5.900 kg/jam
Potensi Kehilangan Produksi	197.355 kg

Berdasarkan hasil perhitungan, total *downtime* mesin *homogenizer* selama periode Mei–Oktober 2025 mencapai 2.007 menit atau setara dengan 33,45 jam. Dengan kapasitas produksi sebesar 5.900 kg/jam, *downtime* tersebut berpotensi menyebabkan kehilangan kapasitas produksi sebesar 197.355 kg selama enam bulan pengamatan.

Meskipun persentase *downtime* hanya sebesar 1,81% dari total waktu operasi, dampak operasional yang ditimbulkan tergolong signifikan karena mengurangi kemampuan perusahaan dalam memenuhi target produksi. Selain kehilangan kapasitas produksi, *downtime* juga berpotensi meningkatkan waktu tunggu pada proses berikutnya, menambah biaya utilitas dan tenaga kerja selama mesin berhenti beroperasi, serta menurunkan efektivitas pemanfaatan peralatan produksi. Oleh karena itu, upaya pengurangan *downtime* pada mesin *homogenizer* menjadi prioritas utama dalam meningkatkan keandalan sistem produksi.

3.4 Downtime Analisis Keandalan Mesin *Homogenizer*

Analisis keandalan dilakukan menggunakan Indikator MTTF dan MTTR untuk mengevaluasi performa mesin *homogenizer*.

Tabel 4. Hasil Perhitungan MTTF dan MTTR

Parameter	Nilai
Total Waktu Operasi	110.970 Menit
Total <i>Downtime</i>	2.007 Menit
Jumlah Kerusakan	24
MTTF	4.623,75 Menit
MTTR	83,63 Menit

Nilai MTTF sebesar 4.623,75 menit menunjukkan bahwa rata-rata mesin *homogenizer* mengalami kegagalan setelah beroperasi selama sekitar 77 jam. Sementara itu, nilai MTTR sebesar 83,63 menit menunjukkan bahwa setiap kerusakan membutuhkan waktu perbaikan lebih dari satu jam sebelum mesin dapat kembali beroperasi.

Nilai tersebut mengisyaratkan bahwa sistem pemeliharaan yang diterapkan masih memerlukan pengembangan lebih lanjut karena masih menghasilkan tingkat kerusakan yang relatif tinggi dan durasi perbaikan yang cukup panjang.

3.5 Analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Analisis FMEA Diterapkan untuk menentukan tingkat risiko kegagalan ditentukan skor RPN.

Tabel 5. Hasil Analisis FMEA

Komponen	<i>Failure Mode</i>	S	O	D	RPN
Gasket <i>Plunger</i>	Kebocoran	8	9	7	504
<i>Plunger</i>	Aus/Rusak	9	5	8	360
<i>Flange</i>	Kebocoran	7	6	6	252
<i>Flowmeter</i>	<i>Error</i>	6	5	7	210
<i>Pressure System</i>	Tidak Stabil	7	5	6	210
<i>Monoblock</i>	Gangguan Mekanis	6	4	6	144

Berdasarkan Tabel 4, gasket *plunger* memiliki nilai RPN tertinggi yaitu 504. Tingginya nilai tersebut disebabkan oleh frekuensi kerusakan yang tinggi, dampak kegagalan yang signifikan terhadap tekanan sistem, serta keterbatasan kemampuan deteksi dini.

Tabel 6. *Ranking* Komponen Kritis

<i>Ranking</i>	Komponen	RPN
1	Gasket <i>Plunger</i>	504
2	<i>Plunger</i>	360
3	<i>Flange</i>	252
4	<i>Flowmeter</i>	210
5	<i>Pressure System</i>	210
6	<i>Monoblock</i>	144

Hasil ini menunjukkan bahwa gasket *plunger* dan *plunger* merupakan komponen yang memerlukan perhatian khusus dalam perancangan strategi pemeliharaan.

3.6 Analisis *Functional Failure*

Analisis RCM dilakukan untuk menetapkan Pendekatan pemeliharaan yang paling efektif dengan mempertimbangkan ciri-ciri serta pola kegagalan pada setiap komponen mesin. Pendekatan ini digunakan untuk menjamin bahwa aktivitas perawatan yang diterapkan sesuai dengan tingkat kritis dan fungsi masing-masing komponen dalam sistem.

Berdasarkan prinsip *Reliability Centered Maintenance* (RCM), sebelum menentukan strategi pemeliharaan perlu dilakukan identifikasi terhadap fungsi setiap komponen, bentuk kegagalan fungsional (*functional failure*), mode kegagalan (*failure mode*), serta dampak yang ditimbulkan terhadap sistem (*failure effect*). Identifikasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa kebijakan pemeliharaan yang dipilih benar-benar mampu mempertahankan fungsi utama mesin *homogenizer* sesuai kebutuhan proses produksi.

Tabel 7. Analisis *Functional Failure* Mesin *Homogenizer*

Komponen	Fungsi	<i>Functional Failure</i>	<i>Failure Effect</i>
Gasket <i>Plunger</i>	Menahan tekanan fluida	Tidak mampu menjaga <i>sealing</i>	Tekanan turun sehingga proses homogenisasi berhenti
<i>Plunger</i>	Menghasilkan tekanan	Tekanan tidak mencapai spesifikasi	Kapasitas produksi menurun
<i>Flange</i>	Menghubungkan jalur fluida	Sambungan bocor	Kehilangan tekanan
<i>Flowmeter</i>	Mengukur laju aliran	Pembacaan tidak akurat	Parameter proses tidak sesuai
<i>Pressure System</i>	Menjaga tekanan operasi	Tekanan tidak stabil	Produk tidak homogen

Berdasarkan hasil identifikasi *functional failure*, sebagian besar kegagalan pada mesin *homogenizer* berasal dari sistem tekanan tinggi (*high pressure system*). Kegagalan fungsi tersebut ditandai dengan ketidakmampuan komponen mempertahankan tekanan operasi sehingga proses homogenisasi tidak dapat berlangsung secara optimal. Kondisi ini menyebabkan penghentian proses produksi untuk dilakukan tindakan perbaikan.

Komponen gasket *plunger* merupakan komponen dengan tingkat kegagalan fungsional paling tinggi karena berfungsi sebagai elemen penyekat (*sealing*) pada sistem tekanan tinggi. Ketika gasket mengalami kebocoran, tekanan fluida tidak dapat dipertahankan sehingga *homogenizer* kehilangan kemampuan menghasilkan tekanan sesuai spesifikasi proses. Oleh karena itu, gasket *plunger* menjadi komponen prioritas dalam penentuan strategi pemeliharaan menggunakan pendekatan RCM.

Tabel 8. Hasil *Logic Tree Analysis* dan Strategi *Maintenance*

Komponen	<i>Failure Mode</i>	Strategi <i>Maintenance</i>
Gasket <i>Plunger</i>	Kebocoran	<i>Preventive Maintenance</i>
<i>Plunger</i>	Aus/Rusak	<i>Preventive Maintenance</i>
<i>Flange</i>	Bocor	<i>Preventive Maintenance</i>
<i>Flowmeter</i>	Error	<i>Condition-Based Maintenance</i>
<i>Pressure System</i>	Tidak Stabil	<i>Condition-Based Maintenance</i>
<i>Monoblock</i>	Gangguan Mekanis	<i>Corrective Maintenance</i>

Hasil analisis menunjukkan bahwa sebagian besar komponen kritis memerlukan pendekatan *preventive maintenance* karena memiliki pola kegagalan akibat keausan (*wear-out failure*) dan memberikan dampak signifikan terhadap operasional produksi.

3.7 Root Cause Kegagalan Gasket *Plunger*

Berdasarkan hasil analisis FMEA, gasket *plunger* merupakan komponen dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi yaitu sebesar 504, sehingga ditetapkan sebagai komponen paling kritis pada mesin *homogenizer*. Oleh karena itu, dilakukan analisis akar penyebab (*root cause analysis*) untuk mengetahui faktor utama yang menyebabkan kebocoran gasket *plunger* sehingga dapat ditentukan tindakan perbaikan yang lebih efektif.

Tabel 9. Analisis *Root Cause* Kebocoran Gasket *Plunger*

Faktor	Root Cause	Dampak
<i>Material</i>	Material gasket mengalami keausan (<i>fatigue</i>) akibat siklus tekanan tinggi yang berulang	Kemampuan <i>sealing</i> menurun sehingga terjadi kebocoran
<i>Machine</i>	Tekanan operasi <i>homogenizer</i> mencapai $\pm 200\text{--}250$ bar sehingga beban kerja gasket sangat tinggi	Mempercepat deformasi gasket
<i>Method</i>	Pemasangan gasket kurang presisi dan permukaan <i>sealing</i> tidak dibersihkan dengan baik	Terjadi celah pada permukaan <i>sealing</i>
<i>Man</i>	Pengencangan baut tidak sesuai standar torsi dan kurangnya inspeksi setelah pemasangan	Kebocoran berulang setelah mesin beroperasi
<i>Environment</i>	Temperatur operasi tinggi menyebabkan elastisitas gasket berkurang	Umur pakai gasket menjadi lebih pendek

Berdasarkan hasil analisis tersebut, penyebab utama kebocoran gasket *plunger* berasal dari kombinasi tekanan operasi yang tinggi, penurunan kualitas material akibat siklus pembebanan berulang, serta proses pemasangan yang kurang optimal. Selain itu, temperatur operasi yang tinggi menyebabkan elastisitas gasket menurun sehingga kemampuan *sealing* berkurang dan mempercepat terjadinya kebocoran.

Lifetime komponen ditentukan berdasarkan histori kerusakan selama periode Mei–Oktober 2025, frekuensi *breakdown*, serta hasil analisis keandalan menggunakan parameter *Mean Time To Failure* (MTTF).

Tabel 10. *Lifetime* Komponen Mesin *Homogenizer*

Komponen	Frekuensi <i>Breakdown</i>	<i>Downtime</i> (Menit)	MTTF (Menit)	<i>Lifetime Existing</i>	Usulan Penggantian
Gasket <i>Plunger</i>	13	1.088	4.623,75	± 2 minggu	2 minggu
<i>Plunger</i>	2	315	4.623,75	± 1 bulan	1 bulan
<i>Flange</i>	4	225	4.623,75	± 1 bulan	1 bulan
<i>Flowmeter</i>	2	233	4.623,75	± 1 bulan	<i>Condition Based</i>
<i>Pressure System</i>	2	100	4.623,75	± 2 minggu	<i>Condition Based</i>
<i>Monoblock</i>	1	46	4.623,75	Sesuai kondisi	<i>Corrective Maintenance</i>

Berdasarkan Tabel 10, gasket *plunger* memiliki frekuensi kerusakan paling tinggi yaitu 13 kejadian selama enam bulan sehingga memiliki *lifetime* paling pendek dibandingkan komponen lainnya. Oleh karena itu, penggantian gasket secara preventif setiap dua minggu direkomendasikan untuk mengurangi risiko kebocoran serta mencegah terjadinya *downtime* tidak terencana.

Selain melakukan penggantian secara periodik, peningkatan keandalan sistem tekanan tinggi juga dapat dilakukan melalui pemilihan material gasket yang memiliki ketahanan lebih baik terhadap tekanan dan temperatur operasi.

Tabel 10. Alternatif Material Gasket

Material	Karakteristik	Kelebihan	Kekurangan	Rekomendasi
NBR (Existing)	Karet <i>nitril</i>	Harga ekonomis dan mudah diperoleh	Ketahanan panas dan tekanan terbatas	Material yang digunakan saat ini
Viton (FKM)	<i>Fluoroelastomer</i>	Tahan temperatur tinggi, tekanan tinggi, dan bahan kimia	Harga relatif lebih tinggi	Direkomendasikan
PTFE	<i>Polytetrafluoroethylene</i>	Sangat tahan bahan kimia dan memiliki gesekan rendah	Kurang elastis dan biaya tinggi	Alternatif untuk fluida tertentu
EPDM	<i>Ethylene Propylene Diene Monomer</i>	Tahan panas dan ozon	Tidak cocok untuk tekanan sangat tinggi	Tidak direkomendasikan

Berdasarkan karakteristik material, *Viton* (FKM) dapat dipertimbangkan sebagai alternatif pengganti material gasket yang digunakan saat ini karena memiliki ketahanan terhadap temperatur dan tekanan operasi yang lebih tinggi. Penggunaan material tersebut berpotensi memperpanjang umur pakai gasket dan mengurangi frekuensi kebocoran. Namun demikian, implementasinya tetap perlu mempertimbangkan aspek teknis, ketersediaan material, serta analisis biaya sehingga diperlukan evaluasi lebih lanjut sebelum diterapkan.

3.8 Penentuan Interval Perawatan

Berdasarkan hasil analisis FMEA dan RCM, ditetapkan interval perawatan yang disesuaikan dengan tingkat risiko masing-masing komponen.

Tabel 11. Interval Perawatan

Komponen	Strategi	Interval
Gasket <i>Plunger</i>	<i>Preventive Maintenance</i>	2 Minggu
<i>Plunger</i>	<i>Preventive Maintenance</i>	1 Bulan
<i>Flange</i>	<i>Preventive Maintenance</i>	1 Bulan
<i>Flowmeter</i>	<i>Condition-Based Maintenance</i>	1 Bulan
<i>Pressure System</i>	<i>Condition-Based Maintenance</i>	2 Minggu
<i>Monoblock</i>	<i>Corrective Maintenance</i>	Sesuai Kebutuhan

Penentuan interval perawatan bertujuan untuk mengurangi kemungkinan kerusakan mendadak dan meningkatkan keandalan sistem produksi.

3.9 Dampak Implementasi TPM

Evaluasi implementasi TPM dilakukan melalui perbandingan kondisi awal dan akhir penerapan TPM.

Tabel 12. Interval Perawatan

Parameter	Sebelum TPM	Sesudah TPM	Perubahan
Total <i>Downtime</i>	2.007 Menit	610 Menit	↓ 69%
Frekuensi Kerusakan	24 Kali	8 Kali	↓ 67%
MTTF	4.623,75 Menit	13.871,25 Menit	↑ 200%
MTTR	83,63 Menit	76,25 Menit	↓ 8,8%

Hasil implementasi menunjukkan bahwa integrasi RCM dan TPM mampu meningkatkan keandalan mesin *homogenizer* secara signifikan. Penurunan downtime sebesar 69% menunjukkan bahwa sebagian besar kegagalan yang sebelumnya bersifat acak (*random failure*) berhasil dikendalikan melalui penerapan *preventive maintenance*, *condition-based maintenance*, dan *autonomous maintenance*.

Peningkatan nilai MTTF sebesar 200% menunjukkan bahwa interval operasi mesin sebelum mengalami kegagalan menjadi jauh lebih panjang. Selain itu, penurunan MTTR menunjukkan bahwa proses perbaikan menjadi lebih efektif dan terkontrol. Dengan demikian, implementasi TPM terbukti mampu meningkatkan keandalan mesin *homogenizer* sekaligus mendukung peningkatan efektivitas sistem pemeliharaan perusahaan.

4. Kesimpulan

Mengacu pada hasil studi yang telah diperoleh pada mesin *homogenizer* di PT CRM, dapat disimpulkan bahwa mesin *homogenizer* merupakan mesin kritis yang memberikan kontribusi *downtime* terbesar pada lini produksi *Non-Dairy Creamer*, yaitu sebesar 2.007 menit atau 69% dari total *downtime* mesin selama periode Mei–Oktober 2025. Tingginya *downtime* disebabkan oleh dominasi kerusakan pada komponen sistem tekanan tinggi, khususnya gasket *plunger*, *plunger*, dan *flange* yang termasuk dalam kategori *wear part* sehingga rentan mengalami keausan akibat operasi kontinu dan tekanan kerja yang tinggi.

Hasil analisis keandalan menunjukkan bahwa mesin *homogenizer* memiliki nilai MTTF sebesar 4.623,75 menit dan MTTR sebesar 83,63 menit. Berdasarkan analisis FMEA, gasket *plunger* ditetapkan sebagai komponen paling kritis dengan nilai RPN sebesar 504, diikuti oleh *plunger* sebesar 360 dan *flange* sebesar 252. Tingginya nilai RPN pada komponen tersebut menunjukkan bahwa sistem tekanan merupakan bagian yang paling berpengaruh terhadap keandalan mesin *homogenizer*.

Penerapan RCM menghasilkan strategi pemeliharaan yang berbeda untuk setiap komponen berdasarkan karakteristik kegagalannya. Komponen gasket *plunger*, *plunger*, dan *flange* direkomendasikan menggunakan *preventive maintenance*, sedangkan flowmeter dan *pressure system* menggunakan *condition-based maintenance*. Selain itu, interval perawatan yang diusulkan meliputi penggantian gasket *plunger* setiap dua minggu, pemeriksaan *plunger* dan *flange* setiap satu bulan, serta inspeksi sistem tekanan setiap dua minggu untuk mengurangi potensi kerusakan berulang.

Implementasi TPM yang terintegrasi dengan RCM terbukti mampu meningkatkan keandalan mesin *homogenizer*. Hal ini ditunjukkan oleh penurunan *downtime* sebesar 69%, penurunan frekuensi kerusakan sebesar 67%, peningkatan nilai MTTF dari 4.623,75 menit menjadi 13.871,25 menit, serta penurunan nilai MTTR dari 83,63 menit menjadi 76,25 menit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi RCM dan TPM efektif dalam mengubah sistem pemeliharaan dari pendekatan reaktif menjadi proaktif sehingga mampu meningkatkan keandalan mesin dan mendukung kelancaran proses produksi secara berkelanjutan.

Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan mengintegrasikan teknologi *predictive maintenance* berbasis sensor kondisi (*condition monitoring*) dan analisis data secara *real-time* untuk meningkatkan akurasi deteksi dini kegagalan serta mengoptimalkan strategi pemeliharaan pada mesin *homogenizer*.

Daftar Pustaka

- Aditia, A. (2025). *Analisis Perawatan Mesin Sterilizer Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)*.
- Aji, A. P., & Setiafindari, W. (2023). Analisis Produktivitas Mesin Filling Botol Dengan Metode Overall Equipment Effectiveness Dan Failure Mode And Effect Analysis. *Jurnal TRINISTIK: Jurnal Teknik Industri, Bisnis Digital, Dan Teknik Logistik*, 2(1), 21–32. <https://doi.org/10.20895/trinistik.v2i1.686>
- Azhari, H., Ganap, J. G., & Nisah, F. A. (2024). Analisis Perawatan Mesin Kapal dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) di PT Jasa Armada Indonesia Tbk. *Industrika : Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 8(2), 407–417. <https://doi.org/10.37090/indstrk.v8i2.1261>
- Irianto, P. F. P., Achmadi, F., Studi, P., & Teknik, M. (2020). *Implementasi Overall Equipment Effectiveness dan Six Big Losses untuk Meningkatkan Efektivitas Mesin*. 1–9.
- Iskandar, S., & Padmakusumah, R. R. (2025). Analisis progress implementasi TPM (Total Productive Maintenance) dan proyeksi manfaatnya bagi peningkatan produktivitas (Studi kasus pada Perusahaan X). *Jurnal Impresi Indonesia*, 4(7), 2532–2547.
- Kusuma, Y. A., & Muttaqin, A. Z. (2021). *Pengukuran Total Productive Maintenance Pada Stasiun*

- Kerja dengan Memperhatikan Faktor Risiko Measurement of Total Productive Maintenance in Workstations by Examining Risk Factors*. 7(2).
- Mardian, R. A., Yunitasari, E. W., & Nurhayati, E. (2022). *Integrasi OEE dan Six Big Losses Untuk Meningkatkan Nilai Efektivitas Mesin Steamer*. 10(2), 102–116.
- Muhazir, A., Sinaga, Z., & Septiadi, R. D. (2024). Perencanaan Perawatan Mesin Building Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM). *Jurnal Optimalisasi*, 10(1), 120. <https://doi.org/10.35308/jopt.v10i01.9263>
- Nkemakonam, I., Harold, C. G., Nkemakonam, I., Harold, C. G., Effective, C., & Reliability, M. (2022). *Cost Effective Maintenance and Machine Reliability for Maintenance Strategy To cite this version : HAL Id : hal-03901459 Cost Effective Maintenance and Machine Reliability for Food Manufacturing Industries using Optimal Maintenance Strategy*. <https://doi.org/10.9734/ACRI/2022/v22i8543>
- Nurardisa, A. I., & Winursito, Y. C. (2025). *Analysis of Packaging Machine Effectiveness with Overall Equipment Effectiveness and Six Big Losses*. 9(1), 139–144.
- Prasmoro, A. V., & Fauzi, A. (2022). *Optimalisasi Kinerja Mesin 2 SINI JBZ 30 Pembuatan Papercup dengan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE)*. 3(1), 75–87.
- Priatna, D. K. (2025). *Buku Ajar Manajemen Operasi*.
- Putri Dwi Astuti, F. A. (2024). *Pengaruh Formulasi Daging Buah Durian (Durio Zibethinus Murr.) pada Pembuatan Es Krim Susu Kambing terhadap Uji Kesukaan dan Fisikokimia*.
- Qomariyah, D., Nursanti, E., & Galuh, H. (2025). *Model Penjadwalan Pemeliharaan Mesin Heavy Duty Hummer Shredder (HDHS) di PG Kebon Agung*. 8(2), 383–393.
- Rahmanda, W. (2023). *Pengaruh Konsentrasi Carboxy Methyl Cellulose (CMC) dan Konsentrasi Mono-Diasilgliserol (MDAG) terhadap Karakteristik Non-Dairy Creamer Bubuk*. Institut Pertanian Stiper Yogyakarta.
- Satake, M., Ud, D. I., & Tani, S. (2024). *Analisis Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Total Productive Maintenance (TPM) pada Mesin Pengupas Kulit Padi Merk Satake di UD. Sumber Tani*. 5(2), 151–160.
- Uzoigwe, D. O. (2024). *Evaluating the Effectiveness of Reliability-Centered Maintenance Programs in Food and Beverage Manufacturing Facilities ; A Review* . IX(2454), 204–232. <https://doi.org/10.51584/IJRIAS>
- Wibowo, Y., Soekarno, S., & Hasana, S. (2025). *Analisis Efektivitas Mesin Produksi Gula untuk Situbondo*.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan apresiasi dan rasa terima kasih kepada PT CRM atas kesempatan yang diberikan untuk melaksanakan penelitian serta dukungan berupa penyediaan data yang dibutuhkan selama proses penelitian. Penghargaan juga diberikan kepada seluruh tim *Maintenance*, Produksi, dan PPIC yang telah berkontribusi dalam kegiatan pengumpulan data, observasi di lapangan, serta proses wawancara yang menjadi bagian penting dalam penelitian ini. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dari Universitas Tangerang Raya atas arahan, saran, dan bimbingan yang diberikan secara berkelanjutan sehingga penelitian ini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik.